

1. Un bazin de decantare de formă paralelipipedică având lățimea de 1,5 m și adâncimea utilă de 0,5 m este alimentat în regim continuu cu apă brută care conține particule de nisip ($\rho = 2,3 \text{ g/cm}^3$) în suspensie. Știind că sedimentarea particulelor de nisip (considerate sferice) decurge în conformitate cu legea lui Stokes, se cere:
- Să se calculeze viteza de sedimentare a unei particule de nisip cu raza $r_p = 0,5 \text{ mm}$, în condițiile în care apa are temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$. (1 punct)
 - Bazinul de decantare fiind alimentat cu $120 \text{ m}^3/\text{h}$ apă brută la $15 \text{ }^\circ\text{C}$, la ce distanță de intrarea în decantor se vor depune pe fundul acestuia particulele de nisip având diametrul de 2 mm. (1 punct)
 - În condițiile de debit de la punctul b), să se calculeze diametrul minim al particulelor de nisip care pot fi separate prin sedimentare, dacă lungimea utilă a decantorului este de 4 m. (1 punct)

REZOLVARE

- a) Sedimentarea are loc în conformitate cu legea lui Stokes:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu_l} \cdot d_p^2 \cdot g \quad (1)$$

Pentru apă la $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, densitatea și viscozitatea se calculează prin interpolare, folosind datele de la 10, respectiv $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\rho_l^{15} = \frac{\rho_l^{10} + \rho_l^{20}}{2} = \frac{1000 + 998}{2} = 999 \text{ kg/m}^3;$$

$$\mu_l^{15} = \frac{\mu_l^{10} + \mu_l^{20}}{2} = \frac{(1310 + 1000) \cdot 10^{-6}}{2} = 1155 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Pentru nisip:

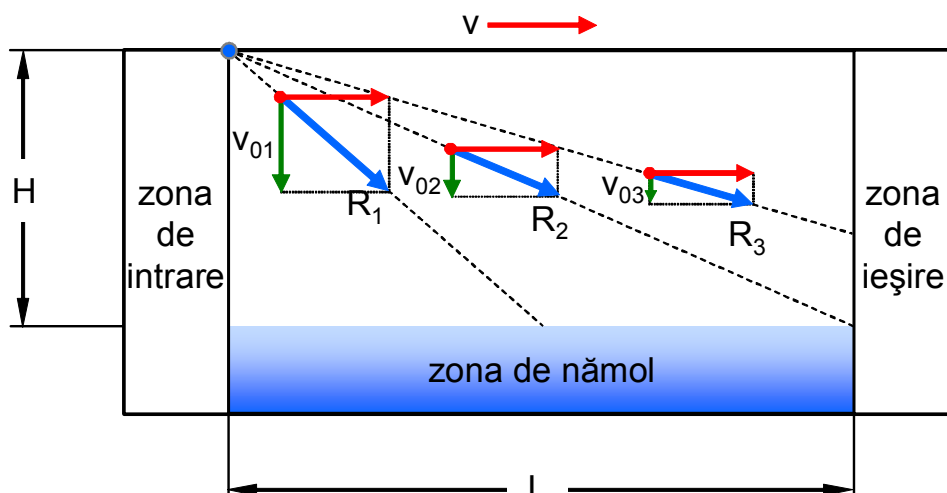
$$\rho_p = 2,3 \text{ g/cm}^3 = 2300 \text{ kg/m}^3$$

$$d_p = 2 \times r_p = 2 \times 0,5 \text{ mm} = 1 \text{ mm} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Înlocuind în (1):

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu_l} \cdot d_p^2 \cdot g = \frac{1}{18} \cdot \frac{(2300 - 999)}{1155 \cdot 10^{-6}} \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9,81 = 0,614 \text{ m/s}$$

- b) Pentru calculul distanței se face apel la schema din figura de mai jos:



În care:

v_{02} – viteza de sedimentare a particulelor de nisip având $d_p = 2 \text{ mm}$ ($2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) – m/s;

L – distanța la care se depun particulele de nisip având $d_p = 2 \text{ mm}$ ($2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$) – m;

H – adâncimea utilă a bazinului de sedimentare (0,5 m);

v – viteza de înaintare a suspensiei prin bazinul de decantare, m/s.

Viteza de înaintare a suspensiei prin bazinul de decantare se calculează din ecuația debitului:

$$m_V = v \times S \text{ (m}^3\text{/s) (2)}$$

Secțiunea de curgere fiind dreptunghiulară: $S = H \times l \text{ (m}^2\text{)}$, unde $l = 1,5 \text{ m}$ este lățimea bazinului. În aceste condiții:

$$v = \frac{m_V}{S} = \frac{m_V}{H \times l} = \frac{120}{0,5 \times 1,5} = \frac{120}{3600 \times 0,5 \times 1,5} = 0,044 \text{ m/s}$$

Pe baza asemănării triunghiurilor (vezi figura):

$$\frac{v}{v_{02}} = \frac{L}{H} \text{ (3)}$$

de unde:

$$L = H \times \frac{v}{v_{02}} = 0,5 \times \frac{0,044}{v_{02}} = \frac{0,022}{v_{02}} \text{ m (4)}$$

Viteza de sedimentare v_{02} se calculează aplicând legea lui Stokes pentru particulele de nisip având $d_p = 2 \text{ mm}$:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu_l} \cdot d_p^2 \cdot g = \frac{1}{18} \cdot \frac{(2300 - 999)}{1155 \cdot 10^{-6}} \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9,81 = 2,455 \text{ m/s}$$

Înlocuind în (4):

$$L = H \times \frac{v}{v_{02}} = 0,5 \times \frac{0,044}{v_{02}} = \frac{0,022}{v_{02}} = \frac{0,022}{2,455} = 0,008959 \approx 0,009 \text{ m,}$$

adică la **9 mm** de intrarea suspensiei în decantor.

c) Folosind aceeași figură, în care $H = 0,5 \text{ m}$; $L = 4 \text{ m}$; $v = 0,044 \text{ m/s}$, din ecuația (3) rezultă viteza de sedimentare a particulelor de nisip care se depun la 4 m de intrarea în decantor:

$$v_{02} = \frac{v \times H}{L} = \frac{0,044 \times 0,5}{4} = 0,0055 \text{ m/s}$$

Sedimentarea decurgând în domeniul Stokes, din (1) rezultă:

$$d_p = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot v_{02}}{g \cdot (\rho_p - \rho_l)}} = \sqrt{\frac{18 \times 1155 \cdot 10^{-6} \times 0,0055}{9,81 \times (2300 - 999)}} = 9,46 \cdot 10^{-5} \text{ m,}$$

adică aproximativ **0,95 μm**.

2. Pentru transvazarea unui lichid newtonian dintr-un amestecător în rezervorul de stocare se folosește o pompă centrifugă având debitul de $75 \text{ m}^3/\text{h}$. Să se calculeze puterea instalată a pompei, cunoscând următoarele elemente (3 puncte):
- Viteza lichidului prin conductele de transport nu poate depăși $2,5 \text{ m/s}$;
 - Densitatea respectiv viscozitatea lichidului transportat la temperatura de lucru sunt de $1,3 \text{ g/mL}$ și respectiv $1,5 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$;
 - Conductele de transport sunt confecționate din oțel inoxidabil, cu o coroziune neînsemnată;
 - Pe traseul de conducte sunt amplasate: 8 coturi la 45° , 4 coturi la 90° cu rază standard, 4 vane $\frac{3}{4}$ deschise, o diafragmă având diametrul orificiului egal cu 50% din diametrul interior al conductei pe care este montată;
 - Lungimea totală a traseului de transport (conducte drepte) este de 35 m ;
 - Randamentul total al pompei este de 75%;
 - Presiunea în amestecător este cea atmosferică, iar în rezervorul de stocare presiunea este de 1000 mm Hg ;
 - Diferența de nivel, pe verticală, între cele două recipiente este de 15 m .

REZOLVARE

Puterea necesară (puterea motorului) este funcție de debitul volumic de lichid vehiculat (m_V), căderea totală de presiune (ΔP_T) și randamentul total al agregatului de pompare (η):

$$N_{motor} = \frac{m_V \times \Delta P_T}{1000 \cdot \eta} \text{ (kW)} \quad (1)$$

Puterea instalată este dată de relația:

$$N_{instalat} = \beta \times N_{motor} \text{ (kW)} \quad (2)$$

Căderea totală de presiune:

$$\Delta P_T = \Delta P_G + \Delta P_D + \Delta P_S + \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl} \text{ (Pa)} \quad (3)$$

include:

- pierderea de presiune datorată ridicării lichidului pe verticală, ΔP_G :

$$\Delta P_G = \rho \times g \times Z \text{ (Pa)} \quad (4)$$

- pierderea de presiune necesară pentru crearea vitezei lichidului, ΔP_D :

$$\Delta P_D = \frac{v^2}{2} \times \rho \text{ (Pa)} \quad (5)$$

- pierderea de presiune necesară compensării diferenței de presiune dintre recipientul de aspirație și cel de refulare, ΔP_S :

$$\Delta P_S = P_{ref} - P_{asp} \text{ (Pa)} \quad (6)$$

- pierderea de presiune datorată frecării:

$$\Delta P_{fr} = \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl} \text{ (Pa)} \quad (7)$$

- o pe porțiunile de conductă dreaptă, ΔP_{lin} :

$$\Delta P_{lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \text{ (Pa)} \quad (8)$$

- o prin rezistențe hidraulice locale, ΔP_{rhl} :

$$\Delta P_{rhl} = \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \text{ (Pa)} \quad (9)$$

Viteza maximă a lichidului prin conductele de transport fiind de maximum $2,5 \text{ m/s}$, din ecuația debitului se calculează secțiunea minimă de curgere, respectiv diametrul minim al conductei:

$$m_V = v \times S \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (10)$$

Secțiunea de curgere fiind circulară:

$$S = \frac{\pi d_{\text{int}}^2}{4} \text{ (m}^2\text{)} \quad (11)$$

Din (10) și (11) rezultă expresia diametrului conductei:

$$d_{\text{int}} = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4m_v}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \times 75}{\pi \times 2,5}} = \sqrt{\frac{4 \times 75}{\pi \times 3600 \times 2,5}} = 0,103 \approx 0,1 \text{ m} \quad (12)$$

Regimul de curgere al fluidului prin conductă depinde de valoarea criteriului Re:

$$\text{Re} = \frac{\rho_l \cdot v \cdot d_{\text{int}}}{\mu_l} = \frac{1,3 \cdot 10^3 \times 2,5 \times 0,1}{1,5} = 216,67 \quad (13)$$

Deoarece $\text{Re} < 2300$, regimul de curgere este **laminar**.

- pierderea de presiune datorată ridicării lichidului pe verticală, ΔP_G :

$$\Delta P_G = \rho \times g \times Z = 1300 \times 9,81 \times 15 = 191295 \text{ Pa}$$

- pierderea de presiune necesară pentru crearea vitezei lichidului, ΔP_D :

$$\Delta P_D = \frac{v^2}{2} \times \rho = 0,5 \times 2,5^2 \times 1300 = 4062,5 \text{ Pa}$$

- pierderea de presiune necesară compensării diferenței de presiune dintre recipientul de aspirație și cel de refulare, ΔP_S :

În rezervor presiunea (P_{ref}) este de 1000 mm Hg, adică $\frac{1000 \times 1,013 \cdot 10^5}{760} = 133289,5 \text{ Pa}$.

În amestecător (P_{asp}) este cea atmosferică, adică $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

$$\Delta P_S = P_{\text{ref}} - P_{\text{abs}} = 133289,5 - 101300 = 31989,5 \text{ Pa}$$

- pierderea de presiune datorată frecării:

- o pe porțiunile de conductă dreaptă, ΔP_{lin} :

Coeficientul pierderii de presiune prin frecare (λ) este funcție de regimul de curgere. Pentru regim laminar,

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{216,67} = 0,2954 \text{ (adimensional)}$$

$$\Delta P_{\text{lin}} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 0,2954 \times \frac{35}{0,1} \cdot \frac{2,5^2}{2} \times 1300 = 420021,875 \text{ Pa}$$

- o prin rezistențe hidraulice locale, ΔP_{rhi} :

Rezistențele hidraulice locale ζ sunt:

Tipul rezistenței	Valoare ζ	Număr rhl identice	ζ total	Sursa bibliografică
Intrare în țevă	0,5	1	0,5	FDT I, Tab. 3.10, p. 86
Cot la 45°	0,3	8	2,4	FDT I, Tab. 3.8, p. 84
Cot la 90° rază standard	0,8	4	3,2	FDT I, Tab. 3.8, p. 84
Diafragmă	29,4	1	29,4	Transportul fluidelor, p. 202
Vană ¾ deschisă	1	4	4,0	FDT I, Tab. 3.8, p. 84
Ieșire din țevă	1	1	1,0	FDT I, p. 86
$\Sigma \zeta$			40,5	

Înlocuind în (9):

$$\Delta P_{rhl} = \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = 40,5 \times \frac{2,5^2}{2} \times 1300 = 164531,25 \text{ Pa}$$

Căderea totală de presiune va fi (3):

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_G + \Delta P_D + \Delta P_S + \Delta P_F = \\ &= 191295 + 4062,5 + 31989,5 + 420021,875 + 164531,25 = \\ &811900,125 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Înlocuind în (1) se obține **puterea necesară a pompei**:

$$N = \frac{m_V \cdot \Delta P_T}{1000 \cdot \eta} = \frac{75 \times 811900,125}{3600 \times 1000 \times 0,75} = 22,55 \text{ kW}$$

Pentru puteri necesare între 5 – 50 kW, factorul de instalare ia valori cuprinse între 1,20 și 1,15 (Transportul fluidelor, tab. 4.3, p. 78).

Puterea instalată va fi:

$$N_{instalat} = \beta \cdot N = 1,2 \times 22,55 = 27 \text{ kW}$$

3. Într-o instalație de evaporare simplă se supun concentrării în regim continuu staționar 120 m³/h suc de roșii având un conținut de substanță uscată de 5% masice. La ieșire din instalație suc de roșii are concentrația de 25% masice substanță uscată. Concentrarea are loc sub un vid de 380 mm Hg, temperatura de fierbere a sucului de roșii fiind de 80 °C și independentă de concentrația acestuia. Sucul de roșii diluat se introduce și se evacuează în/din instalație la T = 80 °C. Ca agent termic se folosește abur saturat uscat la P = 4 ata. Să se calculeze:
- Debitul de apă evaporată din soluția supusă concentrării (0,5 puncte);
 - Debitul volumic de suc de roșii concentrat obținut (0,5 puncte);
 - Debitul teoretic necesar de agent termic (2 puncte).

Suc de roșii	Proprietăți termofizice la 80°C și vid de 380 mm Hg			
	Densitate [kg/m ³]	Viscozitate [mPa.s]	Conductivitate termică [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	Capacitate termică masică [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
5% s.u.	1010	1	0,64	3820
25% s.u.	1085	12	0,50	3540

Vapori de apă saturați	Presiune absolută [ata]	Temp. [°C]	Volum specific [m ³ /kg]	Densitate [kg/m ³]	Entalpie lichid saturat [kJ/kg]	Entalpie vapori saturați [kJ/kg]	Căldură latentă de vaporizare [kJ/kg]
	4,00	143	0,4718	2,1200	600	2744	2144
	0,50	80	3,3040	0,3027	339	2642	2303

Pentru rezolvarea Problemei 3 vezi subiectele rezolvate la gr. 1031 & 1032.